

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra energetiky

Meranie s generátorom spínacieho impulzu
Measurement with a switching pulse Generator

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student:

Ondrej Prívara

Studijní program:

B0713A060005 Elektroenergetika

Téma:

Měření s generátorem spínacího impulsu
Measurement with a switching pulse Generator

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Spínací impuls napětí (SIN).
2. Návrh laboratorní úlohy se SIN.
3. Návod k laboratorní úloze.
4. Protokol z měření se SIN.

Seznam doporučené odborné literatury:

MACH, Veleslav. Technika vysokého napětí. Ostrava: Skriptum 2. přepracované vydání, ES VŠB-TUO, 2006, 114 s. ISBN 80-248-1161-8
ČSN EN 60060-1 Technika zkoušek vysokým napětím
Dokumentace SGSA
Svoboda, J.: Návrh generátoru spínacího impulsu s transformátorem. BP VŠB-TUO 2009

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr. Ing. Veleslav Mach**

Datum zadání: 01.09.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Čestné vyhlásenie

Čestne vyhlasujem, že záverečnú prácu som vypracoval samostatne. Uviedol som všetku použitú literatúru, z ktorej som čerpal.

V Ostrave dňa: 10.5.2020


.....
podpis študenta

Pod'akovanie

Rád by som sa poďakoval vedúcemu bakalárskej práce, doc. Dr. Ing. Veleoslav Mach, za účinnú metodickú a odbornú pomoc, konzultácie a cenné rady pri spracovaní mojej bakalárskej práce.

Abstrakt

Cieľom tejto bakalárskej práce je vytvorenie laboratórnej úlohy v skúšobnej miestnosti Vysokej školy báňskej – TUO s využitím generátora spínacieho impulzu. V prvej časti sú popísané základné teoretické poznatky o prepätiach, spínacom impulze a generátore SGSA. Praktická časť mojej práce sa zameriava na vytvorenie laboratórnej úlohy, ktorá obsahuje popis generátora SGSA, vytvorenie návodu a spracovanie výsledkov merania.

Kľúčové slová

Spínací impulz, impulzný generátor, laboratórna úloha

Abstract

The main purpose of this bachelor thesis is to create a laboratory task in the VŠB-TUO's laboratory using the switching pulse generator. The first part describes basic theoretical knowledge about overvoltage, switching pulse and SGSA generator. The practical part of my work focuses on the creation of a laboratory task, which includes a description of the SGSA generator, creating manual and processing of the measurement results.

Key words

Switching pulse, impulse generator, laboratory task

Zoznam použitých skratiek a symbolov

C_1	(F)	činná kapacita
C_2	(F)	zaťažovacia kapacita
C_v	(pF)	kapacita izolátora k vodiču
C_z	(pF)	kapacita izolátora k stožiaru
C	(pF)	vnútorná kapacita izolátora
R_1	(Ω)	čelný odpor
R_2	(Ω)	tylný odpor
T_p	(μ s)	doba do vrcholu napät'ového impulzu
T_2	(μ s)	doba poltyla napät'ového impulzu
T_{usek}	(μ s)	čas useknutia impulzu
U_m	(V)	maximálna hodnota napät'ového impulzu
U_{10}	(V)	10% napätie výboja
U_{50}	(V)	50% napätie výboja
U_c	(V)	nabíjacie napätie generátora
U_v	(V)	napätie na vodiči
U_k	(V)	napätie na k-tom izolátore daného reťazca
η	(%)	využitie generátora SGSA
γ	(-)	činiteľ pri rozložení napätia

Zoznam obrázkov

Obrázok 1 Vyhodnotenie normalizovaného spínacieho impulzu napätia	3
Obrázok 2 Schéma elektrického obvodu generátora	3
Obrázok 3 Marxovo zapojenie impulzného generátora	4
Obrázok 4 Jednotlivé typy generátorov (SGSA,SGDA,SGVA)	8
Obrázok 5 Schéma zapojenia generátora SGSA	10
Obrázok 6 Technická špecifikácia generátora SGSA	10
Obrázok 7 Fotografia zapojenej navrhovanej úlohy pri kladnej polarite privádzaného napätia	12
Obrázok 8 Priebeh preskoku na hladine 430 kV.....	16
Obrázok 9 Priebeh impulzu na hladine 390 kV.....	17
Obrázok 10 Zachytenie preskokov (zlava +480;+450;-530 a -530 kV)	18
Obrázok 11 Katalógové hodnoty izolátora typu PSVI20A	20
Obrázok 12 Napätia prislúchajúce na dané izolátory v reťazci merané na pôde VŠB	21
Obrázok 13 Rozloženie napätia na izolátorovom reťazci s 24 izolátormi	22
Obrázok 14 Napätia prislúchajúce jednotlivým izolátorom reťazca s 24 izolátormi.....	23

Zoznam tabuliek

Tab. 1 Doporučené izolačné hladiny pre $U_m \geq 300$ kV (podľa IEC)	5
Tab. 2 Pravdepodobnosť výboja pri skúške hore-dole	13
Tab. 3 Tabuľka nameraných hodnôt	15
Tab. 4 Tabuľka vyhodnotenia nameraných hodnôt	16

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Spínací impulz napätia	2
2.1 Normalizovaný spínací impulz.....	2
2.2 Generátor spínacieho impulzu - princíp činnosti	3
2.3 Koordinácia izolácie a izolačné hladiny.....	4
2.4 Skúšky	5
2.5 Skúšobné postupy.....	6
3. Návrh laboratórnej úlohy s generátorom spínacieho impulzu.....	8
3.1 Popis SGSA.....	8
3.2 Miesto merania.....	9
3.3 Objekt merania	9
3.4 Schéma generátora spínacieho impulzu	10
3.5 Postup merania	13
3.6 Namerané hodnoty	14
3.7 Vypočítané hodnoty	15
3.8 Záznamy z merania	16
3.9 Rozloženie napätia na izolátorovom reťazci	19
Záver	25
Zoznam použitej literatúry	26
Zoznam príloh	27

1. Úvod

Témou tejto bakalárskej práce je navrhnuť meranie s generátorom spínacieho impulzu. Práca je zameraná na vytvorenie laboratórnej úlohy pre študentov druhého ročníka bakalárskeho štúdia z predmetu Technika vysokých napätí. Laboratórna úloha sa navrhovala v skúšobnej miestnosti Vysokej školy báňskej – TUO, kde sa nachádza impulzný generátor SGSA.

V prvej časti sú postupne popísané už známe poznatky o prepätiach, spínacom impulze, izolačných hladinách. Teoretická časť obsahuje stručný popis generátora SGSA, opisuje jeho činnosť a podáva základné informácie o skúškach a rozdelenie jednotlivých skúšobných postupov.

Druhá časť tejto práce sa zameriava na praktickú časť a teda na návrh laboratórnej úlohy. V tejto časti je podrobne popísaná tvorba danej laboratórnej úlohy, podrobnejšie popísaný impulzný generátor SGSA, miesto merania ako aj samotný postup a skúšané zariadenie (izolátorový reťazec). Ďalšie podkapitoly slúžia na zobrazenie výsledkov z navrhnutého merania a ich následné spracovanie.

Samotná navrhnutá laboratórna úloha, respektíve zadanie tejto úlohy je písané v českom jazyku a zobrazené v prílohe.

2. Spínací impulz napätia

Pri výrobe a prenose elektrickej energie sa používajú zariadenia, ktoré sú počas svojej životnosti vystavované rôznym napäťovým namáhaniam. Okrem prevádzkových napätí, ktoré pôsobia na tieto zariadenia neustále, sa na týchto zariadeniach objavujú aj krátkodobé prepäťové stavy. Tieto stavy vznikajú napríklad pri zemných spojeniach, spínaní alebo úderoch blesku, teda atmosférických javoch.

Z týchto dôvodov poznáme niekoľko typov prepätí, ktoré delíme podľa spôsobu akým vznikli nasledovne:

- Atmosférické prepätia – najkratší čas trvania (μs)
- Spínacie prepätia – kratší čas trvania (ms)
- Dočasné prepätia – dlhší čas trvania (ferorezonancia)
- Prechodné prepätia pri zemnom spojení – zapínanie, vypínanie a prerušovanie zemného spojenia

Je nutné zabezpečiť, aby jednotlivé zariadenia a ich izolačné systémy vydržali elektrické namáhanie vyššie spomenutých prepätí. Aby sme boli schopný realizovať a simulovať javy, ktoré sa na vysokonapäťových zariadeniach vyskytujú, potrebujeme vhodné zdroje - impulzné generátory.

2.1 Normalizovaný spínací impulz

Na simuláciu spínacích prepätí sa používa takzvaný normalizovaný spínací impulz napätia. Impulzné napätie sa väčšinou vytvára impulzným generátorom. Jedná sa o jednosmernú vlnu, ktorá najprv narastá na svoju maximálnu hodnotu U_m a neskôr pomaly klesá až zanikne. Túto vlnu jasne charakterizujú štyri základné veličiny. Polarita, amplitúda U_m , doba do vrcholu T_p a doba poltýla vlny T_2 .

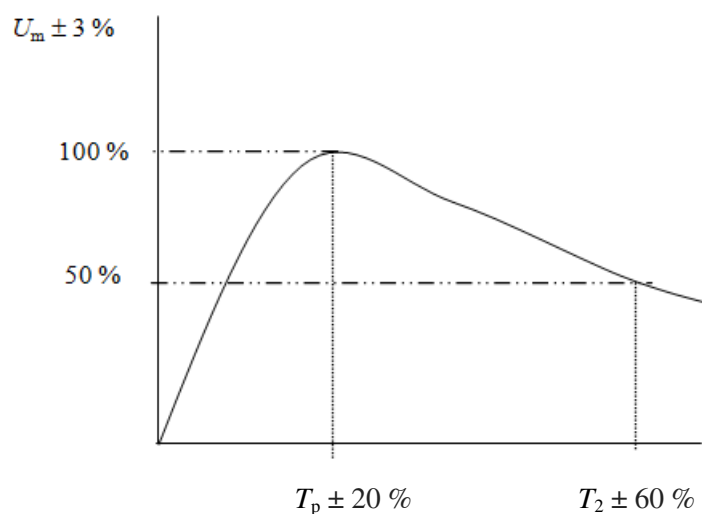
Pod pojmom doba do vrcholu rozumieme čas, za ktorý napätie narastie z nuly na svoju maximálnu hodnotu U_m . Naopak doba poltýla vlny je čas, pri ktorom toto napätie poklesne na polovičnú hodnotu napätia U_m , vid'. **Obrázok 1.**

Normalizovaný spínací impulz má tieto parametre:

$$T_p = 250 \mu\text{s} \text{ s toleranciou } \pm 20 \%$$

$$T_2 = 2500 \mu\text{s} \text{ s toleranciou } \pm 60 \%$$

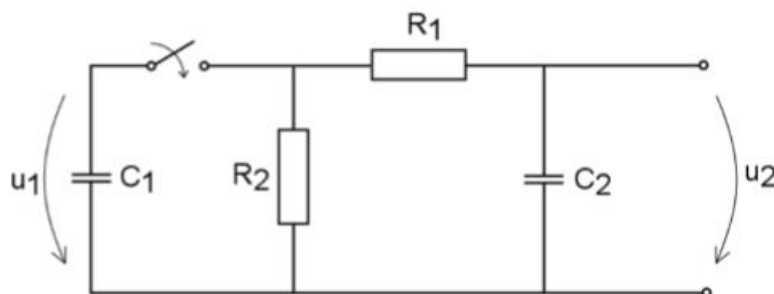
$$U_m \text{ s toleranciou } \pm 3 \%$$



Obrázok 1 Vyhodnotenie normalizovaného spínacieho impulzu napätia [2]

2.2 Generátor spínacieho impulzu - princíp činnosti

Pod pojmom generátor spínacieho impulzu je možné si predstaviť obvod, ktorý dokáže generovať impulzy, vid' **Obrázok 2**. Prvý kondenzátor označovaný C_1 predstavuje činnú kapacitu. Druhý kondenzátor C_2 zaťažovaciu kapacitu. Ďalej tento obvod obsahuje čelný odpor R_1 a tylný odpor R_2 a samozrejme spínacie iskrište.



Obrázok 2 Schéma elektrického obvodu generátora [7]

Cez čelný odpor R_1 a cez spínacie iskrište sa nabitý kondenzátor C_1 vybije do kondenzátora C_2 . Z jednosmerného zdroja sa činná kapacita nabije a náboj sa cez iskrište prenesie do daného obvodu, ktorý tvoria prvky R_1 , R_2 a C_2 . V takomto obvode dochádza k vytváraniu napätia do nami požadovaného impulzného tvaru. Výsledkom je výstupné impulzné napätie na zaťažovacej kapacite C_2 .

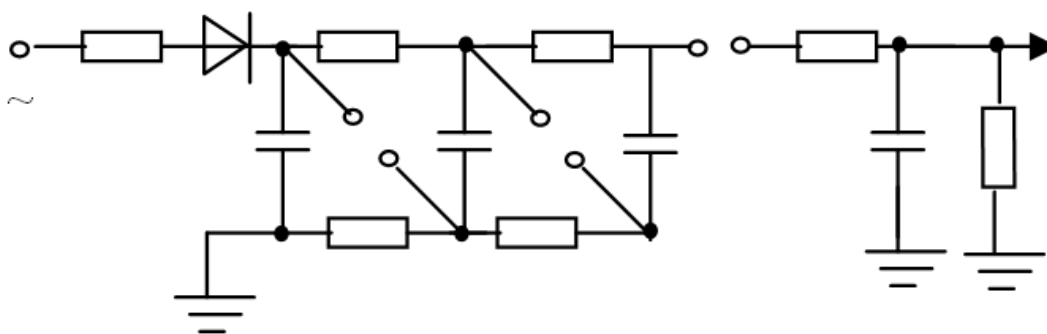
Tvar impulzného napätia určuje sústava diferenciálnych rovníc, ktoré popisujú daný elektrický obvod generátora. Vychádza sa z prvého a druhého Kirchhoffovho zákona [7]:

$$-C_1 \cdot \frac{du_1}{dt} = C_2 \cdot \frac{du_2}{dt} + \frac{u_1}{R_2} \quad (1)$$

$$u_1 = R_1 \cdot C_2 \cdot \frac{du_2}{dt} + u_2 \quad (2)$$

Pre vyššie napätia sa používa tzv. Marxovo zapojenie

Toto zapojenie predstavuje sústavu iskrišť, ktoré sa spínajú lavínovito prakticky v tom istom okamihu. Najprv dôjde k zopnutiu prvého iskrišťa pri zdroji, pretože sa toto iskrište nachádza na najnižšom potenciáli voči zemi. Ak budú spínacie iskrišťa nastavené mierne nad hodnotu nabíjacieho napätia, tak potom stačí zopnúť jedno z nich a sériovým spojením jednotlivých kondenzátorov dochádza na susedných iskrištiach k nárastu napätia na dvojnásobnú hodnotu, pričom tieto iskrišťa okamžite zopnú a napätie tak ďalej narastá na ďalších iskrištiach, vid' **Obrázok 3**.



Obrázok 3 Marxovo zapojenie impulzného generátora [2]

2.3 Koordinácia izolácie a izolačné hladiny

Koordinácia izolácie spočíva vo voľbe elektrickej pevnosti zariadení a spôsob jej aplikácie v závislosti na napätiach, ktoré sa v sústave, pre ktorú je zariadenie určené, môžu vyskytnúť. Popritom sa prihliada k charakteristikám zvodíčov prepätia tak, aby pravdepodobnosť poruchy bola redukovaná na prevádzkovo a ekonomicky prípustnú hladinu.

Rozlišujú sa tri kategórie najvyšších napätí:

- A pre napätia od 1 - 52 kV
- B napätia 52 - 300 kV
- C napätie nad 300 kV.

U izolačných hladín kategórie A a B sa tieto skúšky uskutočňujú prostredníctvom krátkodobého výdržného napätia, atmosférickým impulzom, prípadne dlhodobým striedavým napätím. Izolačná hladina kategórie C sa skúša atmosférickým impulzom, spínacím impulzom a poprípadne dlhodobým striedavým napätím.

Tab. 1 Doporučené izolačné hladiny pre $U_m \geq 300 \text{ kV}$ (podľa IEC) [4]

Najvyššie napätie zariadenia, efektívna hodnota	Základ pre pomerné hodnoty	Menovité výdržné spínacie napätie, vrcholová hodnota (v zátvorke je pomerná hodnota)		Menovité výdržné rázové napätie, vrcholová hodnota	Pomer medzi výdržným rázovým a spínacím napätím
U_m [kV]	$U_m \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ [kV]	[kV]		[kV]	
300	245	750	(3,06)	850-950	1,13-1,27
		850	(3,47)	950-1050	1,12-1,24
362	296	950	(3,20)	1050-1175	1,12-1,24
420	343	1050	(3,06)	1175-1300-1425	1,12-1,24-1,36
		1175	(2,74)	1300-1425-1550	1,11-1,21-1,32
525	429	1300	(2,08)	1425-1550-1800	1,10-1,19-1,38
765	625	1425	(2,28)	1550-1800-2100	1,09-1,26-1,47
		1550	(2,48)	1800-1950-2400	1,16-1,26-1,55

2.4 Skúšky

Skúšky vo všeobecnosti používame na overenie vlastností vyrobených zariadení. Existuje veľké množstvo skúšok, ktoré sa delia do mnohých skupín. Skúška môže byť napríklad kusová alebo typová. Pri kusovej skúške sa skúša každé zariadenie samostatne. Typová skúška sa vykonáva na určitých zariadeniach, ktoré boli na základe štatistických zákonitostí vybrané z danej série zariadení.

Rozlišujeme vonkajšiu a vnútornú izoláciu a podľa schopnosti vlastnej obnoviteľnosti rozdeľujeme izoláciu na samočinne sa obnovujúcu a samočinne sa neobnovujúcu.

Vonkajšie izolácie sú izolačné vzdialenosti a povrchy pevnej izolácie zariadení vo vzduchu, ktoré sú podrobené elektrickému namáhaniu pod vplyvom rôznych atmosférických podmienok ako napríklad vlhkosť vzduchu, znečistenie, dotyk rôznych živočíchov (hmyzu a pod.). Vnútorná izolácia je pevná, plynná alebo tekutá časť izolácie zariadení, ktorá je chránená pred účinkami atmosférických podmienok a vonkajších činiteľov.

Samočinne sa obnovujúcu izoláciu tvoria plyny (vzduch, SF_6 , N_2 , CO_2 a vzácne plyny). Plynné látky majú najvyššiu hodnotu stratového činiteľa a najnižšiu hodnotu elektrickej pevnosti, ktorá predstavuje len 3 MV/m. Vďaka týmto faktorom majú plyny plnú obnoviteľnosť po elektrickom priereze. Skupinu samočinne sa neobnovujúcej izolácie tvoria pevné látky, pri ktorých dochádza po priereze k ich zničeniu. Medzi tieto pevné látky patria sklo, porcelán, plasty a pod. Z hľadiska elektrickej pevnosti sú však dominantné pevné látky, ktoré nadobúdajú hodnoty elektrickej pevnosti až okolo 300 MV/m.

Typ izolácie je určený podľa toho v akom prostredí budeme dané zariadenie používať. Elektrická pevnosť izolácie sa overuje napäťovými skúškami. Jednotlivé skúšky musia byť pre každý typ izolácie navrhnuté tak, aby počas skúšky nedošlo k poškodeniu zariadenia.

Pri privedení spínacej a rázovej vlny napätia sa jedná o skúšky konvenčným výdržným napätím alebo o skúšky polovinového preskokového napätia, pri ktorých sa pevnosť izolácie pre dané výdržné napätia odvodzuje z päťdesiat percentného preskokového napätia. Tieto skúšky sa môžu použiť len pri izoláciách, ktoré sa samovoľne obnovujú. Teda úplne obnovia svoje izolačné schopnosti a vlastnosti po elektrickom prieraze alebo preskoku.

2.5 Skúšobné postupy

Skúšobný postup sa odvíja od povahy daného skúšobného zariadenia. Musí byť technickou komisiou stanovené, ktorý postup sa musí použiť. Pri postupoch A, B a C sa pre napätie, ktoré sa aplikuje na skúšaný objekt udáva iba výdržná hodnota. Pri postupe D musí byť použitých niekoľko napäťových hladín.

Postup A

Na skúšané zariadenia sa priložia tri impulzy s určitým tvarom a polaritou na hladine vopred zadaného impulzného napätia. Ak nedôjde k poruche, požiadavky skúšky sú splnené. Tento postup sa odporúča na skúšky samočinne sa neobnovujúcej alebo degradovateľnej izolácie.

Postup B

Pri tomto postupe sa na skúšané zariadenie privedie pätnásť impulzov zadaného tvaru a polaritu na hladine stanoveného napätia. Zariadenie prešlo skúškou úspešne ak nedôjde k viac ako dvom prierazným výbojom v časti izolácie, ktorá ma samočinne obnovujúci sa charakter. A ak nie je pomocou detekčných metód zistená porucha samočinne sa neobnovujúcej časti izolácie. Ak dôjde k výboju v jednom z posledných troch impulzov, môžu byť priložené až ďalšie tri impulzy a ak sa neobjaví žiadny výboj, dané zariadenie skúšku úspešne absolvovalo.

Postup C

Na skúšaný objekt privedieme tri impulzy zadaného tvaru a polaritu na stanovenej hladine napätia. Ak nedôjde k prierazu, tak daný objekt úspešne prešiel skúškovým procesom. Pokiaľ počas skúšania dôjde k viac ako jednému výboju, dané zariadenie skúškou neprešlo. Pokiaľ dôjde k jednému výboju v samočinne sa obnovujúcej časti izolácie, tak sa na skúšané zariadenie privedie ďalších deväť impulzov. Ak pri nich nedôjde k prierazu, dané zariadenie skúšku obstálo. Keď sa počas ktorejkoľvek časti skúškového procesu zistí porucha v samočinne sa neobnovujúcej časti izolácie, skúšaný objekt skúškou úspešne neprešiel.

Postup D

V prípade samočinne sa obnovujúcej izolácie môžeme vyhodnotiť 10% napätie výboja U_{10} , pomocou použitia štatistických skúšobných postupov. Tieto skúšobné postupy umožňujú priamo vyhodnotiť U_{10} a U_{50} alebo nepriamo vyhodnotiť dané napätie U_{10} . V danom prípade sa U_{10} odvodzuje z hodnoty U_{50} podľa vzťahu:

$$U_{10} = U_{50} \cdot (1 - 1,3 \cdot s) \quad (3)$$

Kde s je smerodajná odchýlka napätia výboja. Pri skúškach vzdušnej izolácie za sucha nie je zahrnutá ďalšia iná izolácia, môžeme použiť jednotnú hodnotu $s = 0,03$. Pri skúškach impulzným napätím vonkajšej izolácie za sucha aj za dažďa, bez zahrnutia inej izolácie je hodnota $s = 0,06$. Zadaný objekt skúšku absolvoval úspešne, ak napätie U_{10} nie je menšie než stanovené výdržné impulzné napätie.

Pri vyhodnotení U_{50} môžeme použiť tieto skúšobné metódy:

- metóda viacerých hladín
- metóda hore-dole

Pri spínamom impulznom napätí však môže často dochádzať k výskytu výbojov dost' ďaleko pred vrcholom s časovo náhodným rozložením. Vo výsledkoch skúšok sa používa aj ďalšia metóda, pri ktorej sa meria skutočné napätie výboja pri každom jednom impulze [3].

3. Návrh laboratórnej úlohy s generátorom spínacieho impulzu

3.1 Popis SGSA

Tento generátor je produktom firmy Haefely, ktorá okrem typu SGSA produkuje ešte ďalšie dva typy generátorov, ktoré sa používajú na merania väčších napätí a sú zobrazené na **Obrázok 4**. Jedná sa o typ:

- SGDA

Nabíjacie napätie tohto generátora činí 3 MV, veľkosť energie na jeden stupeň predstavuje 5 alebo 10 kJ. Používa sa na vytváranie impulzov, ktoré simulujú údery blesku a spínacie prepätia. Tento generátor sa vďaka svojej konštrukcii ľahko rozkladá a prepravuje.

- SGVA

Generátor typu SGVA sa taktiež používa na vytváranie impulzov, ktoré simulujú údery blesku a spínacie prepätia. Jeho nabíjacie napätie je však omnoho vyššie a má hodnotu až 10 MV, pričom veľkosť energie na jeden stupeň zapojenia je až 30 kJ.



Obrázok 4 Jednotlivé typy generátorov (SGSA,SGDA,SGVA) [5]

3.2 Miesto merania

Meranie budeme uskutočňovať vo vysokonapäťovej skúšobnej miestnosti v budove L, ktorá sa nachádza v areáli VŠB-TU Ostrava. V tejto budove sa uskutočňujú niektoré laboratórne úlohy z predmetu Technika vysokých napätí. Nachádza sa tu impulzný generátor SGSA 700-35 ako aj ďalšie zariadenia, ktoré súvisia s použitím vysokého napätia. Generátor spínacieho impulzu je generátor, ktorého celkové nabíjacie napätie sa pohybuje v rozmedzí 100 až 700 kV, pričom hodnota energie na stupeň predstavuje 5 kJ.

3.3 Objekt merania

Energiu generátora môžeme vyjadriť vzťahom [4]:

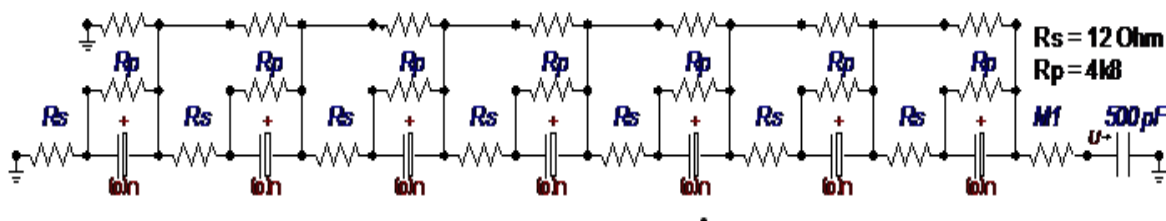
$$E = \frac{C_1 \cdot U_c^2}{2} \quad (4)$$

Kde veličina U_c označuje nabíjacie napätie generátora. Samozrejme kapacity rôznych skúšaných objektov a zariadení sú vždy iné. Kapacita objektu má vplyv na tvar impulzu. Jednu z najväčších kapacít majú káble. Ich kapacita dosahuje až $0,1 \mu\text{F}$. Najmenšiu kapacitu do stoviek pF majú spravidla priechodky a taktiež aj izolátory. V prípade, že skúšaným objektom bude transformátor, tak sa prejaví ako kapacita. V našom prípade musíme kapacitu daného skúšaného zariadenia (bleskoistka, transformátor, vypínač, izolátor...) pripočítať ku hodnote kapacitného deliča, ktorého kapacita predstavuje približne 500 pF. Takto vzniknutá kapacita následne určí veľkosť čelného odporu tak, aby sme pri dobe do vrcholu dodržali toleranciu $\pm 20 \%$.

Pre skúšku spínacím impulzom bol zvolený izolátorový reťazec tanierových izolátorov. Najväčšia napäťová hladina zvn v Českej republike používaná v prenosovej sústave má hodnotu 400 kV. Z tohto dôvodu sa bude skúšať izolátorový reťazec, ktorý je používaný na hladinách tejto napäťovej úrovne, napríklad pre vývod z vodnej elektrárne Dlouhé Stráně. Podľa **Tab. 1** je zrejmé, že pre danú napäťovú hladinu je menovitá vrcholová hodnota spínacieho prepätia až 1050 kV. Takémuto napätiu by v praxi zodpovedal izolátorový reťazec s približne 23 až 27 izolátormi.

Vzhľadom na to, že v našom laboratóriu nedokážeme vygenerovať napätie veľkosti 1050 kV, bude meraná iba časť reťazca. Volíme jednu šestinú, takže použijeme namiesto izolátorového reťazca s 24 izolátormi len izolátorový reťazec so štyrmi izolátormi. Vplyvom zredukovania počtu izolátorov logicky dochádza aj k zníženiu spínacieho prepätia a to približne na hodnotu 175 kV.

3.4 Schéma generátora spínacieho impulzu



Obrázok 5 Schéma zapojenia generátora SGSA [1]

CZ / _ / 31932160
VSB Ostrava, Czech Republic

HAEFELY
HIPOTRONICS

Item 2

- 1 SGS SW** Switching impulse resistor set for switching impulse voltage according to IEC 60060-1 (250 $\mu\text{s} \pm 20\%$ / 2500 $\mu\text{s} \pm 60\%$)

Number of stages	Int. front resistor	Ext. front resistor, ribbon type		Int. tail resistor
	k Ω	k Ω	m	Ω
	Qty. x value	Value	Length	Qty. x value
7	---	100 & 60	5.8 & 5.6	7 x 4800

All dimensions approx.

Remark:

4800 Ω tail resistors required only if the generator is not equipped with the optional resistors SGS RP according to IEC 60076-3.

Number of stages	Test object capacitance $C_{b \max}$ without additional front resistors R_s	Output voltage at no load	Output voltage at full load $C_{b \max}$
	nF	kV	kV
7	1.7	560	535

$C_{b \max}$ is limited because of the number of front resistors. Higher capacitive loads can be tested with add. front resistors, not included.

Obrázok 6 Technická špecifikácia generátora SGSA [1]

Každý z izolátorov má kapacitu 9 pF. Po zapojení jednotlivých izolátorov do sériového reťazca vzniká výsledná kapacita, ktorá sa vypočíta nasledovne:

$$\frac{4}{C_1} = 2,25 \text{ pF} \quad (5)$$

Takto vzniknutú kapacitu je nutné pripočítať ku hodnote kapacitného deliča, ktorá v tomto prípade predstavuje spomínaných 500 pF. Túto celkovú kapacitu potom treba brať do úvahy pri výpočte hodnoty čelného odporu tak, aby boli dodržané stanovené tolerancie pri jednotlivých parametroch normalizovaného spínacieho impulzu. Hodnota čelného odporu sa vypočíta podľa vzťahu z technickej dokumentácie generátoru [1]:

$$R = \frac{70}{C} \text{ (kOhm, nF)} \quad (6)$$

Po dosadení celkovej kapacity vzniká vzťah:

$$R = \frac{70}{502,25 \cdot 10^{-3}} \cong 139 \text{ k}\Omega \quad (7)$$

Na základe tejto vypočítanej hodnoty sa určí dĺžka odporového pásika z príslušnej technickej dokumentácie impulzného generátora, vid'. **Obrázok 6.**

Po určení dĺžky odporového pásika, ktorá bude predstavovať približne 5,6 až 5,8 m, sme schopní pre navrhované meranie generátor SGSA zapojiť tak, aby boli dodržané potrebné tolerancie normalizovaného spínacieho impulzu. Generátor SGSA bude zapojený nasledovne, vid'. **Obrázok 5.**



Obrázok 7 Fotografia zapojenej navrhovanej úlohy pri kladnej polarite privádzaného napätia

Kompletné zapojenie meranej úlohy je zachytené na fotografií, vid' **Obrázok 7**. Táto fotografia zachytáva všetky komponenty, ktoré boli použité pri uskutočňovaní laboratórnej úlohy. Jedná sa o kapacitný delič, tlmiaci odpor, odporový pásik, skúšaný izolátorový reťazec, ktorý obsahuje štyri izolátory a samozrejme generátor SGSA, ako aj všetky privody.

3.5 Postup merania

Daný izolátorový reťazec bude skúšaný podľa skúšobného postupu D. Použije sa metóda hore-dole.

Spracovanie výsledku skúšok

Pre výdržný postup, ktorý je popisovaný v norme ČSN EN 60060-1 sa uvádza odhad U_p pre pravdepodobnosť prierného výboja p_p , ktorá je daná vzťahom [3]:

$$p_p = 1 - (0,5)^{1/n} \quad (8)$$

Zatiaľ čo výbojový postup dáva U_p pre:

$$p_v = (0,5)^{1/n} \quad (9)$$

Kde n je počet impulzov.

Tab. 2 Pravdepodobnosť výboja pri skúške hore-dole [3]

n	70	34	14	7	4	3	2	1	
p_p	0,01	0,02	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30	0,50	(výdržný postup)
p_v	0,99	0,98	0,95	0,90	0,85	0,80	0,70	0,50	(výbojový postup)

Keďže sa v tomto meraní skúša samočinne sa obnovujúca izolácia a bude sa vyhodnocovať 10% a následne 50% napätie výboja, tak norma ČSN EN 60060-1 Technika vysokých napätí, v tomto prípade požaduje priviesť na skúšané zariadenie minimálne osem napäťových hladín. Z **Tab. 2** vyplýva, že pri vyhodnocovaní 10% napätia výboja, je nutné pri výdržnom postupe priviesť na každej napäťovej hladine sedem impulzov. Po splnení vyššie spomenutých podmienok je možné dané meranie uskutočniť.

Pri tomto meraní je dôležité si definovať základné pojmy ako počet skupín, počet prijatých skupín a podobne.

- Počet skupín: Znamená to, koľkokrát boli jednotlivé napäťové hladiny privedené na dané skúšané zariadenie.
- Počet prijatých skupín: Je počet tých skupín, ktoré boli privádzané na platných napäťových hladinách.
- Platné hladiny: Tie napäťové hladiny, ktoré boli privádzané na skúšaný objekt aspoň dvakrát.

Vyhodnotenie 10% napätia výboja U_{10} sa uskutoční len z platných hladín pomocou nasledujúcej rovnice (váženého priemeru):

$$U_{10} = \frac{\text{počet prijatých skupín} \cdot \text{napätie prijatých skupín}}{x} \quad (10)$$

Symbol x označuje celkový počet prijatých skupín, ktoré boli privedené na skúšaný objekt.

Na začiatku merania sa stanoví počiatočná napäťová hladina 400 kV. Od tejto počiatočnej napäťovej hladiny sa určí hodnota pre ΔU . Táto hodnota udáva rozdiel medzi jednotlivými napäťovými hladinami a predstavuje 1,5 až 3 % zo spomínanej počiatočnej napäťovej hladiny 400 kV.

V tomto prípade bude hodnota ΔU predstavovať 2,5 % a vypočíta sa podľa nasledujúceho vzťahu:

$$\Delta U = \frac{400}{100} \cdot 2,5 = 10 \text{ kV} \quad (11)$$

Stručný postup merania:

- Na skúšaný objekt sa privedie 8 napäťových hladín.
- Na každej napäťovej hladine sa bude privádzať 7 impulzov.
- Nastane preskok – napätie sa zníži na nižšiu napäťovú hladinu o ΔU .
- Nenastane preskok – napätie sa zvýši na vyššiu napäťovú hladinu o ΔU .

3.6 Namerané hodnoty

Meranie sa uskutočňovalo dňa 15.11.2019.

Vykonanie tejto navrhovanej úlohy trvalo približne 120 minút.

Teplota vzduchu: 21°C

Vlhkosť vzduchu: 54%

Tlak vzduchu: 1012 hPa

Meranie sa spracovávalo pomocou meracieho systému TR-AS 25/8. Jedná sa o 8-bitový prevodník s rýchlosťou vzorkovania 25 MS/s. V tabuľke sú zobrazené jednotlivé napäťové hladiny, taktiež aj reálna hodnota privádzaného napätia U_p na daných napäťových hladinách. Ďalej táto tabuľka zachytáva dobu do vrcholu T_p , dobu poltýlu T_2 ako aj čas, pri ktorom došlo k preskoku T_{usek} . Symboly 1 a 0 zobrazujú to, či k preskoku došlo alebo nedošlo. 1 - preskok, 0 - nedošlo k preskoku.

Tab. 3 Tabuľka nameraných hodnôt

Č.m.	Hladina U (kV)	U_p (kV)	η (%)	T_p (μ s)	T_2 (ms)	impulzy							T_{usek} (μ s)
						1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	
1	400	349,7	87,4	154	2,12	0	1						129
2	390	335	85,9	150	2,13	0	0	0	0	0	0	0	
3	400	349,7	87,4	154	2,12	0	0	0	0	0	0	0	
4	410	358,5	87,4	151	2,1	0	0	0	0	0	0	0	
5	420	367,3	87,4	155	2,2	0	0	0	0	0	0	0	
6	430	376,1	87,4	156	2,12	0	1						260
7	420	367,3	87,4	155	2,12	0	0	0	0	1			212
8	410	358,5	87,4	151	2,1	0	0	0	0	0	0	0	

Priebeh celého merania podrobne popisuje **Tab. 3 Tabuľka nameraných hodnôt**. Kedy sa na izolátorový reťazec postupne privádzali jednotlivé napätové hladiny. Na počiatočnej napätovej hladine došlo hneď pri druhom privádzanom impulze k preskoku. Tento preskok mohol byť však spôsobený počiatočnými mechanickými nečistotami ako napríklad prach, pavučiny a drobné nečistoty, pretože na ďalších napätových hladinách, respektíve od hladiny 390 kV po hladinu 420 kV k preskokom nedochádzalo. Najnižšia napätová hladina, na ktorej k preskoku nedošlo bola 390 kV. Naopak na hladine 430 kV došlo k preskoku už pri druhom privádzanom impulze.

3.7 Vypočítané hodnoty

Určenie U_{10} pomocou **Tab. 4 Tabuľka vyhodnotenia nameraných hodnôt** :

Hodnotu 10% napätia výboja určíme ako vážený priemer z privedených platných hladín pomocou rovnice (11). V tomto prípade je len šesť platných napätových hladín a to hladiny 400, 410 a 420 kV.

$$U_{10} = \frac{2 \cdot 400 + 2 \cdot 410 + 2 \cdot 420}{6} = 410 \text{ kV} \quad (12)$$

Výpočet využitia kaskády z **Tab. 3 Tabuľka nameraných hodnôt**:

$$\eta = \frac{U_p}{U} = \frac{349,7}{400} = 0,874 \text{ (-)} \dots \eta = 87,4 \% \quad (13)$$

Zapojenie kaskády generátora SGSA, ktoré je zobrazené na **Obrázku 5** má využitie približne 87,4 %. Výnimkou je hladina 390 kV, kde pravdepodobne došlo k chybe merania a hodnota využitia kaskády je 85,9 %. Keďže využitie zapojenia kaskády generátora SGSA má hodnotu 87,4 %, tak výsledné 10% napätie výboja na izolátorovom reťazci má hodnotu:

$$U_{10} = 410 \cdot 0,874 \cong 358 \text{ kV} \quad (14)$$

Určenie U_{50} na základe vypočítanej hodnoty U_{10} a pomocou rovnice (3):

$$U_{50} = \frac{U_{10}}{(1-1,3 \cdot s)} \quad (15)$$

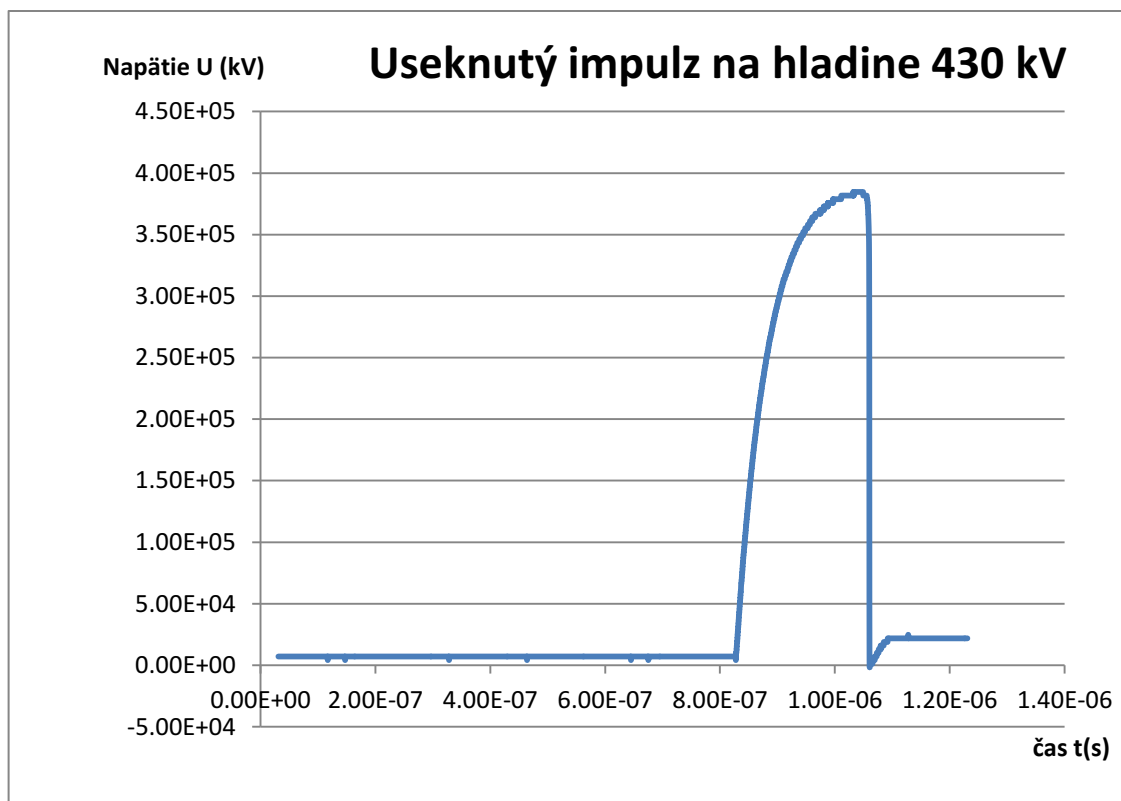
$$U_{50} = \frac{358}{(1-1,3 \cdot 0,06)} = \frac{358}{0,922} \cong 388 \text{ kV} \quad (16)$$

Tab. 4 Tabuľka vyhodnotenia nameraných hodnôt

Počet skupín	1	2	2	2	1
Platné hladiny	0	1	2	3	0
Počet prijatých skupín	0	2	2	2	0
Napätie prijatých skupín (kV)	390	400	410	420	430
Celkový počet prijatých skupín x	6				

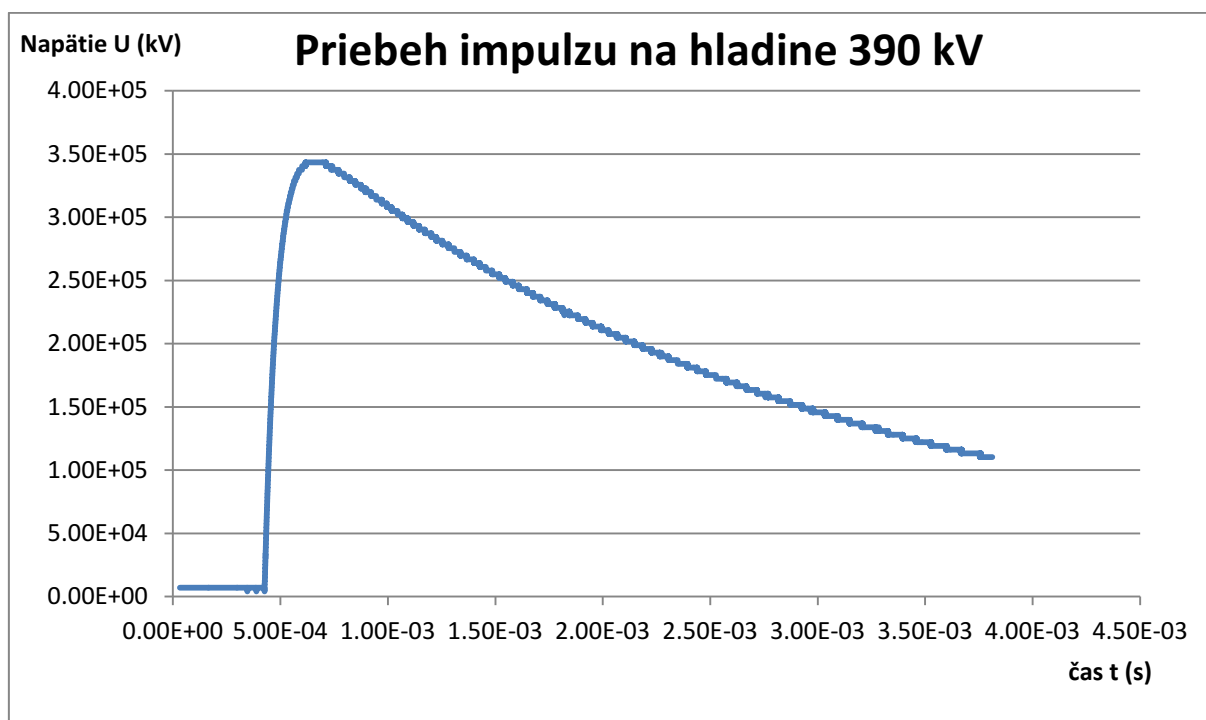
3.8 Záznamy z merania

Pri privádzaní jednotlivých napäťových impulzov sa zaznamenávali na merací systém TR-AS 25/8 dáta. Následne sa z týchto dát vyhodnotilo niekoľko priebehov pomocou programu Microsoft Excel.



Obrázok 8 Priebeh preskoku na hladine 430 kV

Na **Obrázku 8** je zachytený priebeh napätového impulzu pri privádzanom napätí 430 kV. Pri tomto meraní došlo k preskoku na izolátorovom reťazci. V okamihu useknutia impulzu, teda pri preskoku dochádza k značne viditeľnému okamžitému skokovému poklesu napätia. **Obrázok 9** zase dokumentuje priebeh impulzu na hladine 390 kV. Nedochádza k preskoku a tento spínací napätový impulz má charakteristický tvar, kedy napätie rýchlo narastá na svoju maximálnu hodnotu U_m a následné pomaly klesá až prakticky zanikne.



Obrázok 9 Priebeh impulzu na hladine 390 kV

Na ďalšom priloženom obrázku sú zobrazené jednotlivé preskoky, ktoré pri danom meraní vznikli a podarilo sa ich fotograficky zachytiť.



Obrázok 10 Zachytenie preskokov (zl'ava +480; +450; -530 a -530 kV)

Počas fotografického zachytávania jednotlivých preskokov pri meraní dochádza k značnej anomálii. Všetky preskoky vykazujú tú istú vlastnosť a to takmer identický tvar. Každý preskok, ku ktorému pri meraní došlo, nastával len medzi prvým a tretím izolátorom daného reťazca. Na štvrtom izolátore sa preskok akoby už len plazil. K tomuto javu dochádza pri kladnej polarite. Jednotlivé fotografie preskokov ako aj veľkosť a polarita privádzaného napätia popisuje **Obrázok 10**.

Zhodnotenie merania

Cieľom tohto merania bolo určiť 10% a 50% napätie prierazného výboja. Priebeh merania dôkladne popisuje **Tab. 3 Tabuľka nameraných hodnôt**, v ktorej sú zapísané všetky podstatné parametre jednotlivých privádzaných impulzov daných napäťových hladín. Pre priehľadnosť vyhodnotenia a na zjednodušenie nameraných dát slúži ďalšia tabuľka, **Tab. 4 Tabuľka vyhodnotenia nameraných hodnôt**. V tejto tabuľke sú podrobne zapísané hodnoty potrebné k určeniu 10% napätia výboja U_{10} , respektíve U_{50} . Pri použití pôvodného izolátorového reťazca s veľkým množstvom izolátorov (24) dochádza k vyššiemu namáhaniu krajných izolátorov daného reťazca. Toto namáhanie je spôsobené nerovnomerným a nelineárnym rozložením napätia na reťazci vplyvom rozloženia jednotlivých kapacít. Jedná sa o vnútornú kapacitu jednotlivých izolátorov ako aj o kapacitu voči zemi a kapacitu k vodičom. Z teórie vyplýva, že použitím metódy per partes by mala hodnota spínacieho prepätia na izolátorovom reťazci so štyrmi izolátormi predstavovať približne jednu šestinú z celkovej menovitej vrcholovej hodnoty spínacieho prepätia a to približne 175 kV. Avšak hodnota z tohto merania predstavuje pri štyroch izolátoroch v reťazci približne 358 kV. Podľa tejto hodnoty by potom na izolátorovom reťazci s dvadsiatimi štyrmi izolátormi mala byť hodnota spínacieho prepätia šesťkrát väčšia a to cca 2148 kV. Je však zrejmé, že aplikácia tejto metódy spôsobuje určité skreslenia a rozdiely v meraní. Krajné izolátory sú na reťazci so štyrmi izolátormi menej namáhané a rozloženie napätia, ako aj rozloženie jednotlivých kapacít bude zase iné ako pri použití izolátorového reťazca s dvadsiatimi štyrmi izolátormi. Takýto veľký rozdiel hodnôt, ako aj neistota merania, je spôsobený nerovnomerným a nelineárnym rozložením napätia a jednotlivých kapacít na izolátorovom reťazci.

Keďže sme pôvodný izolátorový reťazec s dvadsiatimi štyrmi izolátormi rozdelili na jednotlivé časti a akoby ho skúšali postupne, tak dochádza k značným odchýlkam a rozdielom. Podrobnejšiemu rozloženiu napätia na reťazci ako aj jednotlivým kapacitám sa venuje kapitola **3.9 Rozloženie napätia na izolátorovom reťazci**.

3.9 Rozloženie napätia na izolátorovom reťazci

V izolátorovom reťazci má každý izolátor vlastnú vnútornú kapacitu C , ktorá býva približne rovnaká u všetkých izolátorov v danom reťazci. Žiadny z výrobcov izolátorov neudáva kapacity izolátorov. Jednotliví výrobcovia udávajú len ich rozmery a ďalšie potrebné parametre, na základe ktorých by sa kapacita izolátorov mala dať určiť. Ďalej má však každý izolátor kapacitu voči stožiaru (zemi), označovanú C_z a kapacitu voči vodiču C_v . Tieto kapacity sú dané polohou jednotlivých izolátorov v reťazci. Kapacita voči stožiaru (zemi) býva spravidla väčšia, pretože časti pripojené k stožiaru majú väčšiu plochu.

Parazitné kapacity izolátorov k stožiarom ako aj k zväzkovým vodičom závisia aj na ďalších rôznych faktoroch. Ich hodnoty sa líšia v súvislosti s okolitými podmienkami prostredia, ako sú napríklad teplota, vlhkosť vzduchu, znečistenie a podobne. Pri určovaní parazitných kapacít závisí taktiež aj na type stožiara a na spôsobe akým je ukotvený daný izolátorový reťazec k stožiaru.

Lineárne rozloženie napätia na reťazci je možné dosiahnuť len v tom prípade, že by sa nebrali do úvahy hodnoty jednotlivých parazitných kapacít a teda C_z aj C_v by sa rovnali 0. V praxi však platí, že parazitné kapacity nikdy nie sú nulové. Všeobecne platí, že $C_z > C_v$.

Rozloženie napätia na izolátorovom reťazci nasledujúca popisuje diferenčná rovnica [4]:

$$U_k = \frac{U_v}{C_z + C_v} \cdot \left[C_v + C_z \cdot \frac{\sinh \gamma \cdot k}{\sinh \gamma \cdot n} - C_v \cdot \frac{\sinh \gamma \cdot (n-k)}{\sinh \gamma \cdot n} \right] \quad (17)$$

Kde n je počet izolátorov, napätie U_v predstavuje napätie na vodiči a činiteľ γ sa vypočíta nasledovne:

$$\gamma = 2 \sinh^{-1} \frac{1}{2} \sqrt{\frac{C_z + C_v}{C}} \quad (18)$$

Napätie pripadajúce na k -tý izolátor potom určuje rovnica [4]:

$$\Delta U_k = U_k - U_{k-1} \quad (19)$$

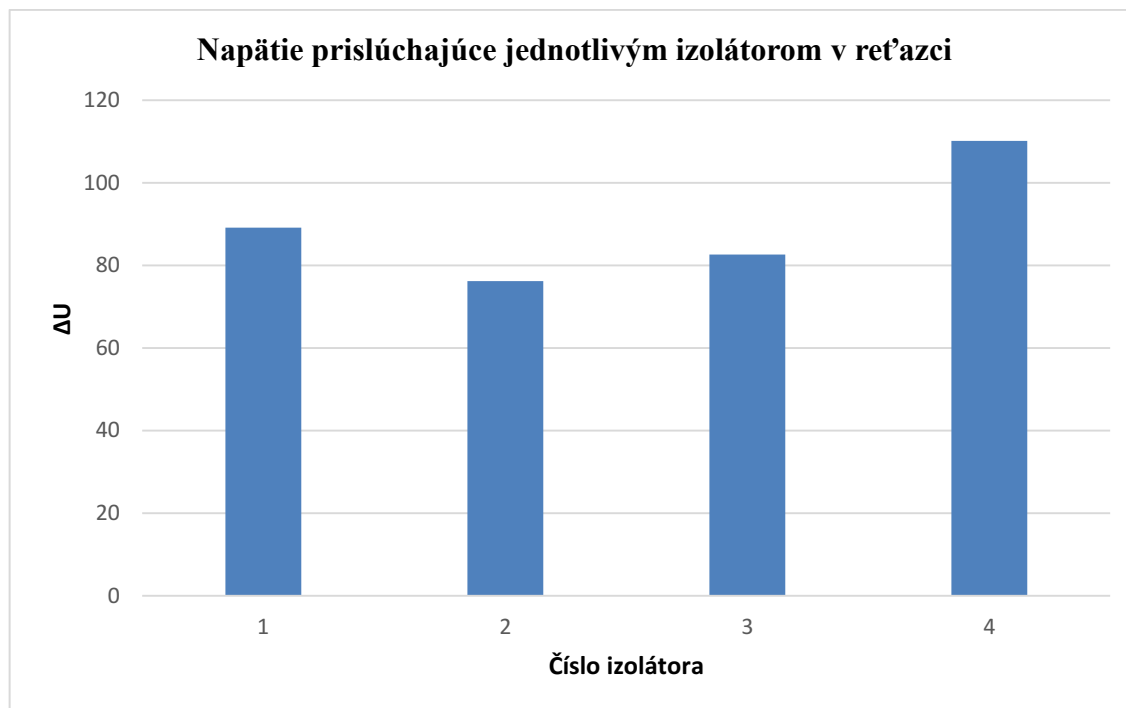
Rozloženie napätia bolo realizované na izolátorovom reťazci zloženého zo sklenených izolátorov typu PSV120A od výrobcu LVOV. Tieto izolátorové reťazce sú použité na linke V457 medzi Dlouhými Stráněmi a Krasíkovem a obsahujú 23-27 izolátorov, podrobnejší popis je v uvedenej DP, viď [8].

Z katalógu izolátorov vyplýva, že hodnota napätia pre jeden takýto izolátor je 110 kV, kdežto pre reťazec s piatimi izolátormi je zadaná hodnota 450 kV, vid' **Obrázok 11 [6]**. Toto je pravdepodobne spôsobené práve danými parazitnými kapacitami a nelinearitou rozloženia napätia na reťazci.

Class IEC ¹	U120B
Class GOST ²	ПГ 120Б112V
Minimum mechanical failing load, kN	120
Minimum mechanical residual strength, kN ³	96
Diameter of the insulating part, (D), mm	255
Spacing, (H), mm	146
Nominal creepage distance, mm	330
Ball and socket coupling (d), mm ⁴	16
Puncture voltage in insulating medium, kV ⁵	130
Dry lightning impulse withstand voltage, kV ⁵ (a. One unit, +/-, kV)	110/110
Dry lightning impulse withstand voltage, kV ⁵ (b. Short standard string (5 units), kV)	450/450
Wet power-frequency withstand voltage, kV ⁵ (a. One unit, kV)	40
Wet power-frequency withstand voltage, kV ⁵ (b. Short standard string (5 units), kV)	195
Radio interference voltage, dB/kV	60/20 86/30
Zinc coating mass, not less than, g/m ²	600
Weight, kg	3,9

Obrázok 11 Katalógové hodnoty izolátora typu PSV120A [6]

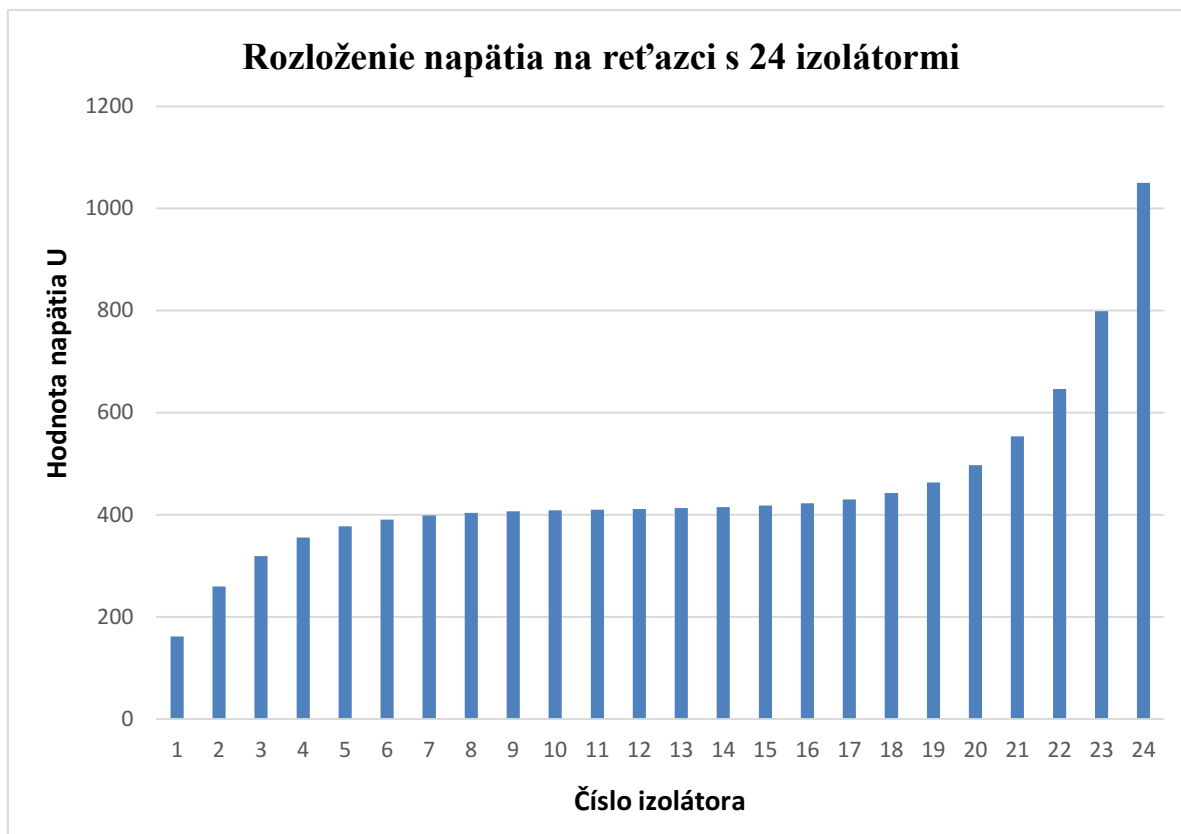
Zo známych hodnôt z katalógu izolátorov a pomocou rovnice (18) bola metódou pokus omyl v programe excel určená hodnota činiteľa $\gamma = 0,5$, pre požadované napätia z katalógu. Následne boli z hodnoty γ určené dané parazitné kapacity. Kde parazitná kapacita k stožiaru C_z vyšla 1,4 pF a parazitná kapacita k vodiči C_v má hodnotu 0,9 pF. Vnútoraná kapacita izolátora predstavuje daných 9 pF, vid' kapitola 3.4 Schéma generátora spínacieho impulzu.



Obrázok 12 *Napätia prislúchajúce na dané izolátory v reťazci merané na pôde VŠB*

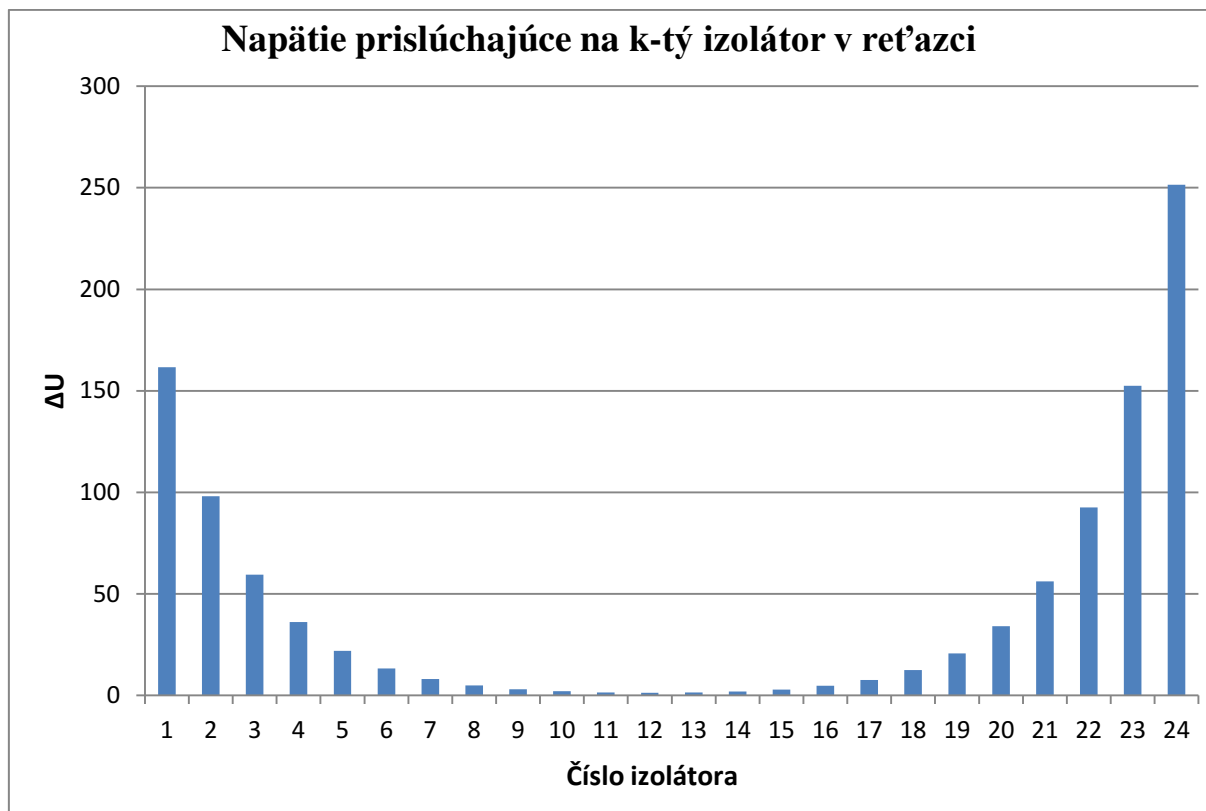
Na **Obrázku 12** je zobrazené rozloženie napätia na meranom izolátorovom reťazci pre navrhovanú laboratórnu úlohu s vyššie zistenými parazitnými kapacitami. Z obrázku vyplýva, že pri určenom napätí z uskutočneného merania $U_{10} = 358$ kV, je hodnota napätia na izolátore pri vodiči 110 kV a to je v súlade s uvedenou hodnotou z katalógu, viď **Obrázok 11**.

Ďalej boli hodnoty zistených parazitných kapacít použité pre reťazec s dvadsiatimi štyrmi izolátormi, viď **Obrázok 13** a **Obrázok 14**.



Obrázok 13 Rozloženie napätia na izolátorovom reťazci s 24 izolátormi

Z tohto obrázku je zrejmé, že vplyvom parazitných kapacít je rozloženie napätia na izolátorovom reťazci s dvadsiatimi štyrmi izolátormi silne nelineárne. Približne v strede izolátorového reťazca sa toto napätie príliš nemení, čo jasne zachytáva aj **Obrázok 14**. Na tomto obrázku je pekne vidieť aj to, že naozaj najviac namáhané sú práve krajné izolátory v reťazci, pričom práve izolátor pri vodiči je najviac namáhaným izolátorom z celého izolátorového reťazca a musí byť schopný týmto namáhaniam odolieť.



Obrázok 14 *Napätia prislúchajúce jednotlivým izolátorom reťazca s 24 izolátormi*

Pre lineárne rozloženie napätia na reťazci s dvadsiatimi štyrmi izolátormi a celkovým napätím 1050 kV by bola hodnota napätia na jednom izolátore približne 44 kV. Avšak pri nelineárnom rozložení napätia, viď **Obrázok 14**, je na izolátore pri vodiči hodnota napätia až 251 kV. Je teda zrejmé, že pri kapacitách, ktoré sú v teórii uvažované ako konštantné, by pre izolátorový reťazec s dvadsiatimi štyrmi izolátormi nebola hladina 1050 kV, zachovaná.

Z toho vyplýva, že problémom budú práve uvažované konštantné hodnoty jednotlivých parazitných kapacít. Je jasné, že tieto hodnoty parazitných kapacít sa budú meniť. Pre parazitnú kapacitu k stožiaru bude platiť to, že táto parazitná kapacita bude s narastajúcou vzdialenosťou jednotlivých izolátorov od stožiara postupne klesať. Presne naopak to zase platí pre parazitnú kapacitu k vodiči, ktorá bude postupne klesať na izolátoroch, ktoré sú čím ďalej viac vzdialené od vodiča. To či by požadovaná hodnota bola reálna sa dá teda určiť jedinou možnou metódou a to tak, že by sa meranie muselo uskutočniť na celom izolátorovom reťazci s požadovaným počtom izolátorov. Uskutočnenie takéhoto merania na celom izolátorovom reťazci však nie je v našich univerzitných priestoroch a vybavenosti možné uskutočniť.

Pri navrhovaní tejto laboratórnej úlohy s generátorom spínacieho impulzu bolo treba určiť skúšobný postup, podľa ktorého bude celé merania prebiehať. Jednotlivé skúšobné postupy sú popísané v kapitole **2.5 Skúšobné postupy**. Podrobnejší popis jednotlivých skúšobných postupov sa nachádza v norme ČSN EN 60060-1 Technika zkoušek vysokým napětím [3]. Po prečítaní jednotlivých možných postupov a ich zhodnotení sa dospelo k záveru, že nakoľko sa predpokladá meranie samočinne sa obnovujúcej izolácie, bude pre návrh laboratórnej úlohy najvhodnejšie použiť skúšobný

postup D. Jedná sa o veľmi zaujímavý skúšobný postup, ktorý by mali študenti zvládnuť v danom vyhradenom čase tejto laboratórnej úlohy. Výhodou tohto skúšobného postupu je to, že pri určovaní 10% napätia výboja nemusíme privádzať na skúšané zariadenie veľký počet napätí. Na skúšané zariadenia stačí pri tomto skúšobnom postupe a metóde hore-dole priviesť len osem napäťových skupín so siedmimi impulzmi. Zároveň sa pri tomto skúšobnom postupe neudávajú žiadne informácie ohľadom prípadného kontrolovania samočinne sa neobnovujúcej časti izolácie.

Záver

Táto bakalárska práca sa zaoberá tvorbou laboratórnej úlohy v skúšobnej miestnosti VŠB-TUO z predmetu Technika vysokých napätí. Pre návrh úlohy bol použitý generátor spínacieho impulzu SGSA a izolátorový reťazec. Prostredníctvom vytvorenej laboratórnej úlohy, ktorá je koncipovaná v podobnom duchu ako ostatné návody z predmetu TVN, budú mať študenti možnosť merať úlohu, ktorej súčasťou je či už impulzný generátor, ktorý má využitie v širokej oblasti energetiky, tak aj naozaj veľmi často používaný prvok elektrizačnej sústavy a to izolátorový reťazec.

Vytvorená laboratórna úloha má priblížiť odskúšanie izolátorového reťazca používaného na hladinách prenosovej sústavy 400 kV. Na tejto hladine je spínacie prepätie o veľkosti až 1050 kV, čo predstavuje reťazec s približne 24 izolátormi. V priestoroch VŠB-TUO však nebolo možné odskúšať kompletne celý reťazec, pretože generátor impulzu SGSA nedokáže vytvoriť napätie väčšie ako 600 kV. Dospelo sa teda k záveru, že sa daný reťazec rozdelí na šesť častí a bude sa skúšať akoby postupne.

V zimnom semestri prebehlo meranie, pri ktorom bol skúšaný reťazec so 4 izolátormi a s výsledným napätím $U_{10} = 358$ kV. Z toho vyplýva, že pri aplikácii tejto metódy na celý reťazec, by vzniklo napätie 2148 kV, ktoré by malo vyhovovať. Avšak kapitola 3.9 Rozloženie napätia na izolátorovom reťazci neskôr ukázala, že by toto napätie vyhovovať nemuselo, pretože na krajnom izolátore by vzniklo napätie o veľkosti až 251 kV. Takto veľké vzniknuté namáhanie je však spôsobené nelinearitou a pri navrhovaní danej laboratórnej úlohy sa tento fakt prehliadal. Je teda zrejmé, že jediný spôsob ako zistiť, či by bola požadovaná hodnota vyplývajúca z merania reálna je ten, že by sa musel odskúšať kompletne celý izolátorový reťazec a to nie je možné v našich podmienkach a s našim generátorom SGSA 700-35.

Zoznam použitej literatúry

Knižné zdroje:

- [1]. *Dokumentace SGSA*
- [2]. **Mach, Veleslav**. *Technika vysokého napětí: Skriptum 2. přepracované vydání ES VŠB-TUO, 114s. ISBN 80-248-1161-8*. Ostrava. 2006.
- [3]. *Norma ČSN EN 60060-1 Technika zkoušek vysokým napětím*.
- [4]. **Veverka, Antonín**. *Technika vysokých napětí 2. přepracované vydání*. Praha : SNTL/ALFA, 1978.

Internetové zdroje:

- [5]. Haefely. [Online] 20.2.2020. <http://www.haefely.com/2145731.html>
- [6]. Umek. [Online] 7.3.2020. <https://umek.pro/products/iec-standard/standard-profile/hv-glass-suspension-insulator-u120b>

Závěrečné práce:

- [7]. **Bureš, J**. *Měřicí sestava pro zkoušky impulzním napětím DP ZČU*. 2015.
- [8]. **Hlavička, Bc. Martin**. *Vliv znečištění a vlhkosti na izolátorových závěsech u vedení přenosové soustavy na velikost svodových ztrát DP VŠB-TUO*. 2012
- [9]. **Svoboda, J**. *Návrh generátoru spínacího impulsu s transformátorem BP VŠB-TUO*. 2009.

Zoznam príloh

Názov

Laboratorní úloha – Zkouška izolátorového řetězce spínacím impulsem

Počet strán

2